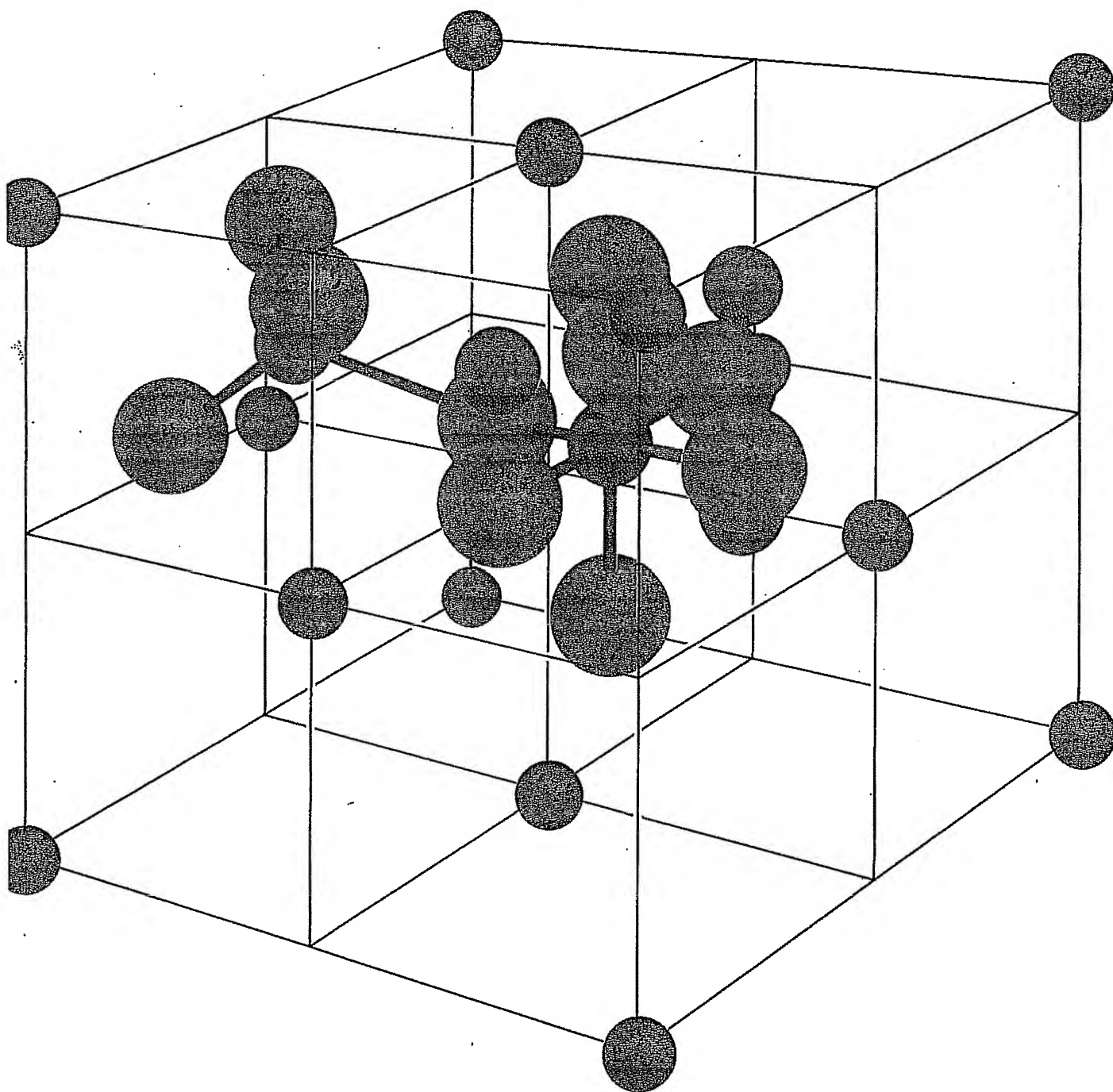


Ferrite

with フェライト

TDK株式会社 編



日刊工業新聞社

目次

SOFT ferrite

磁性の裏にひそむ極小磁石	10	序に代えて
ふたつの顔を持つ4番目の量子	12	スピン磁気モーメントの概念
孤独な電子と浮かれる電子	14	遷移金属の電子配置とイオン結合
フェライト磁性の素顔をのぞく	16	単位胞の構造とフェリ磁性
最強コンビのお膳立て	18	磁性イオン操作の諸条件
思わぬ磁性の寝返りわざ	20	亜鉛イオンによる磁性制御
熱にあわてぬ実用磁性	22	磁気特性の温度依存性
分裂するフェライト結晶	24	磁区形成のメカニズム
磁気特性の鍵・磁区形成	26	続・磁区形成のメカニズム
頭をひねる磁気モーメント	28	磁壁の構造
磁性きわだつ磁壁移動	30	外部磁界と磁壁移動
磁壁をはばむ落とし穴	32	結晶欠陥と磁壁移動
磁壁の個性とフェライト磁性	34	磁束密度の構造
μ をあやつる磁壁の中身	36	透磁率と制御因子
思いがけぬ磁壁の強化法	38	磁壁幅と透磁率
空孔とハイ μ 制御	40	焼成プロセス制御による空孔抑制
薄く大きく μ に迫る	44	粒界応力とグレイン径
がんばり屋の μ を仕立てる	46	結晶磁気異方性定数の正負
磁壁をしごく交流磁界	48	初透磁率の周波数特性
磁界の力と谷間の引力	50	磁化容易軸と異方性磁界
0.00000001秒の磁壁移動	52	磁気モーメントの首振り運動
スピンのいたすら	54	スピン磁気モーメントの存在証明
磁壁を動かすふたつの因子	56	トルクに働く制動因子
磁壁を追い抜く交流磁界	58	磁壁共鳴の起きる条件
磁壁共鳴・ μ のハイジャンプ	60	磁壁固有の振動数 ω と共鳴周波数 f_0
紀元1600年の磁気革命	62	談話室
磁化機構の隠し味	64	磁区内磁気モーメントの首振り運動
μ の終着駅・自然共鳴	66	磁化限界周波数／自然共鳴
狙われたTVゴースト	68	自然共鳴と磁界エネルギー／電磁波吸収素子

ゆがむ結晶格子	72	磁化方位と不純物原子
不純物原子の知的犯罪	74	拡散・余効損失の発生メカニズム
衰弱する初透磁率の秘密	76	経時変化の発生機構／電子交換説
イオンの消えた結晶格子	78	経時変化の発生機構／空格子変位説
ファラデーの困った法則	80	渦電流損失の発生機構
損失あわてるイオン操作	82	渦電流損失の抑制／イオン置換
微に挑み細を制する	84	渦電流損失の抑制／粒界制御
低損失材の外交手腕	88	談話室
ヒステリシス・プロフィール	90	非可逆磁壁移動とヒステリシス損失
ヒステリシス減量作戦	92	原材料分布にひそむ損失要因
ヒステリシス・ハードボイルド	94	異方性制御によるヒステリシス損失操作
試される損失制御	96	実用レベルにおける損失制御の重要性
ハイB制御のたいなる難関	98	昇温プロセス御制による磁束密度の強化
熱にまつわるこじれた関係	100	パワーロスの温度依存性
まるく納まらない金属イオン	104	磁歪現象の発生機構
ゆがみから超音波	106	90°磁壁の移動プロセスと磁歪効果
よく働きよく耐える	108	磁歪振動子の組成と結晶構造
磁歪振動子の得意技	110	談話室
自然共鳴を超えた世界	112	電磁波のファラデー回転現象
ギガヘルツ帯の共鳴現象	116	強磁性共鳴に至る μ 変化の軌跡
強磁性共鳴の意外な内幕	118	正負円偏波に見られる磁化特性の相違点
開いた μ 値のミステリー	120	正負円偏波の μ 値と進行速度
立ちどまる電磁波	122	非可逆回路サーキュレータの機能
電磁波を曲げるコツ	124	サーキュレータの動作原理
組成で操るマイクロウエーブ	126	飽和磁化Isと円偏波透磁率の関係
実用の素子選び	128	電磁波の挿入損失とフェライト組成
用途を見極め素子を制す	130	組成、非磁性イオンによるIs制御
YIG族の家族構成	132	YIG系素子の結晶構造と低損失の機構
フェライトのひとり言	134	談話室

RECORDING material

針になったフェライトの話 140 談話室・磁気テープ ①

針にする意味について 144 談話室・磁気テープ ②

コバルト色の種明かし 146 談話室・磁気テープ ③

HARD ferrite

ハードフェライト・プロローグ 150 軟磁性と硬磁性の境界線

高保磁力のメカニズム 152 硬磁性フェライトの結晶構造と一軸異方性

微小結晶の集積技術 154 硬磁性フェライトの生成プロセス

磁化に背く反逆分子 158 反磁界Hdと磁界強度の実効値

マグネットの実力測定 160 円柱状ハードフェライトの寸法比と吸引力

ハードフェライト・エピローグ 162 温度低下に伴う磁力の減衰現象

おしまいの言い草 164 あとがきに代えて

DISCOVERY

亜鉛フェライトの研究論文 166 資料室I

関連書籍一覧・参考文献 183 資料室II

さくいん 187 INDEX

▼太陽の半径を、 $6.96 \times 10^8 \text{ m}$ 、太陽から冥王星までの距離を、39.8天文単位(1天文単位: $1.5 \times 10^8 \text{ m}$)、すなわち $6.0 \times 10^{12} \text{ m}$ とし、割り算をすると、太陽から冥王星までの距離は、太陽の半径の約8570倍となり、ソフトフェライトとハードフェライトのHc値の比率とほぼ重なる。もう少し現実的な尺度で比較すれば、この見開き2頁の横幅は40cmほどであるが、この幅ぎりぎりにハードフェライトのヒステリシスループを描いたとしても、ソフトのループの幅は、わずか、0.05mmにしかならないことになる。

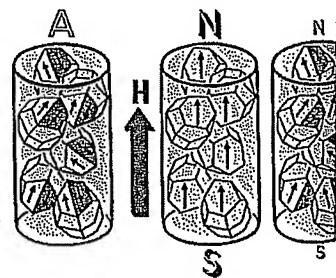
HARD

-Hc

何かの雑誌に書かれていたことだが、新聞社には、硬派デスクと並んで軟派デスクというのがあるそうである。おカタイ話が硬派で、暮らしの知恵袋とか行楽情報などを扱うのが軟派という仕切りと知れば、なるほど納得なのであるが、二枚目記者氏がニタニタと原稿を書いている光景を思い浮かべる人がいても、これまた不思議はないような気がする。同様に、フェライトには硬いのと軟らかいのあると言っても、まさか、豆腐のような仕分けがあるわけではない。が、しかし、手にとって眺めてみてもさしたる違いもなく、どこことなく絹ごしと木綿の差を感じさせるふしがないわけでもない。

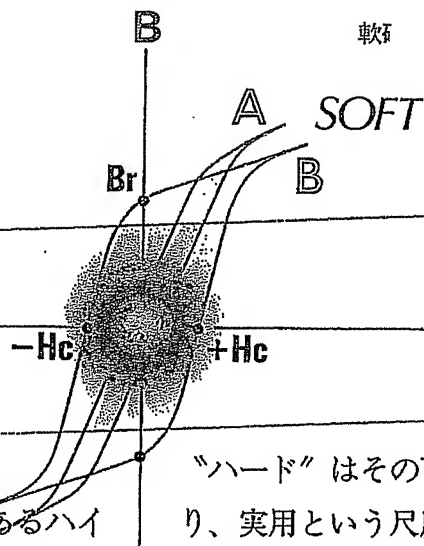
特別な制御を加えない限り、いかなるフェライトも、磁氣的に最も安定したエネルギー状態、すなわち、(1)整然と頭を揃えてひとつの磁区を構成する単位胞単位の磁気モーメントが、(2)隣の磁区と反平行の方位を指し示した上に、(3)グレインの集合レベルにおいても、三次元的にランダムな方位を指し示す相殺関係を保ちながら、誕生する。そして、この“眠れる磁性”を起こしにかかるのは、外部磁界Hの役目だった。磁壁がスルスルと移動する。磁気モーメントが一斉に首をかしげ始める。互いに打ち消し合っていた磁気モーメントが、外部磁界の方位に頭を揃えはじめるのだから、それはそのまま磁極エネルギーの発生を意味し、磁化とはすな

わち“ソフト”なフェライトが「磁石」と化すプロセス



軟磁性と硬磁性の境界線

ハードフェライト プロローグ



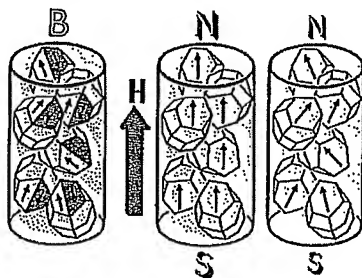
スであることに気づく。

しかし、軟磁性材料の代表格であるハイ μ 材の磁化特性（右上のヒステリシスループA）が物語るように、外部磁界が沈黙してしまえば、磁化もほとんどゼロの“ソフト”な状態に逆戻りしてしまうわけで、これを「磁石」と呼ぶのは、いかにも図々しい。ところがその一方で、目覚めの大変悪い、 μ の低いタイプは、残留磁束密度Brの大きい角型ループ（同B）を示し、確かに外部磁界の助けを借りずとも「磁石」としての特性を発揮できるわけなので、絹ごしか木綿か、といった心持ちになる。だが、その程度のツツパリでは、とても“硬派”とは呼べない本質的な理由があつて、“ソフト”が絹ごし豆腐なら、やはり、

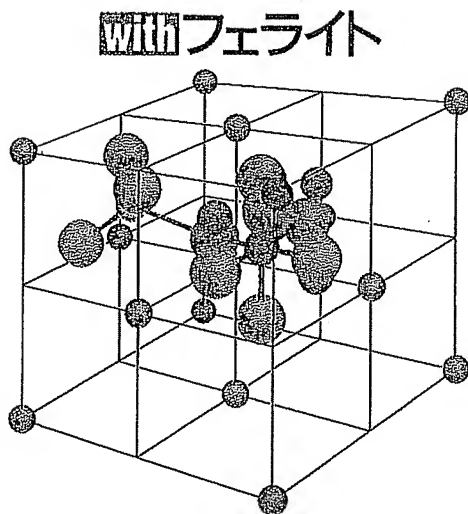
“ハード”はその下の皿ほどに硬い。つまり、実用という尺度を当ててみると、残留磁束密度の値もさることながら、保磁力 H_c^* の値がきわめて重大なファクターとして浮上してくるのである。

ほどほどの μ 値を発揮するソフトの保磁力 $-H_c$ の値を、ヒステリシスループの中心で燃えさかるオレンジ色の球体、太陽の半径で置き換えてみると、ハードの $-H_c$ 値は、なんとその約8000倍、冥王星の軌道半径に達してしまうことになる。一度目覚めたが最後、テコでも元に戻らないというしたたかな硬骨構造があればこそ、ソフトと一線

を画すハード磁性ならではの応用分野が開けるというわけであるが、さて、そのような硬骨漢をいかに育てたものだろうか。



*正確には、飽和磁束密度に達した状態から、外部磁界をゼロとし、さらに反対方向に磁化していくときに、磁束密度がゼロになる磁界の強さ、すなわち「飽和保磁力 H_{cs} 」の値が重大となる。Brが大きくても、この値が小さければ、わずかな外部磁界のかかわりで磁化が消滅、あるいは反転してしまうことになり、記憶素子としては有効でも、永久磁石としては使えない。一般的に、保磁力1000エルステッドをソフトとハードの仕切りとしているが、そもそも、フェライトに軟磁性材と硬磁性材が存在することを明らかにしたのは、1932年、世界に先がけてフェライトを発明した加藤与五郎、武井武両博士であつた。この研究の成果として、きわめて高い保磁力を示すコバソルトフェライトとマグネタイトの固溶体、 $CoFe_2O_4:Fe_2O_3$ が生み出され、OP磁石という名称で実用化されたが、それがまさに、フェライトマグネットの第1号であつた。さて、本文中に磁化プロセスの模様をモデル化したイラストを2点挿入した。それぞれはヒステリシスループのAとBに対応している。両者の右端の図、つまり飽和磁化に達したのち磁界を取り除いたときの磁気モーメントの様子を比較していただくと、保磁力の大きさには、結晶磁気異方性エネルギーの障壁がかなり色濃い影を落としていることがおわかりいただけると思う。



発行日 ——— 1986年1月25日 初版発行

著作・編集 ——— TDK株式会社
企画／電子材料営業事業部
技術総監修／フェライト研究部
技術監修／通信機事業部
磁気テープ事業部
磁気テープ研究部
開発研究所

発行 ——— 日刊工業新聞社
〒102東京都千代田区九段北1-8-10
Phone: (03)263-2311(大代表)
振替口座:東京9-186076

印刷 ——— 竹田印刷株式会社

製本 ——— 小高製本工業株式会社

©1986 TDK CORPORATION

Printed in Japan

落丁、乱丁本はお取替えいたします。

Coercivity H_{cs} is the field intensity required to reduce the magnetic flux density of a material from saturation to zero while the material is magnetized in the reverse direction after the external magnetic field has been removed. Materials with a low coercivity lose or reverse the magnetization with a very small external magnetic field even if they have high residual magnetic flux density B_r . Such materials would be used as memory elements but cannot be used as permanent magnets. Generally, ferrites are divided into hard and soft at a
coercivity of 1000 Oe. Doctors Yogoro KATO and Takeshi TAKEI, who invented ferrites for the first time in the world in 1932, showed that ferrites had soft and hard magnetisms. Their research yielded $CoFe_2O_4:Fe_3O_4$, a solid solution of cobalt ferrite and magnetite, which showed very high coercivity. This material was practically used under the name of OP magnet and was the first ferrite magnet. In the text above, the two figures illustrate the magnetization processes. The figures show hysteresis loops A and B, respectively. If you compare the rightmost illustrations in the figures which show the magnetic moments after the magnetic field is removed after the magnetization has been driven to saturation, you will see that the barrier of crystal magnetic anisotropy energy is very important for the coercivity.